

Kaolid: 飲料の味変化のための口中香を実現する 蓋型嗅覚デバイスの設計と基礎評価

真弓大輝^{†1}

奈良先端科学技術大学院大学

中村優吾^{†2}

九州大学

松田裕貴^{†3}

奈良先端科学技術大学院大学

三崎慎也^{†4}

奈良先端科学技術大学院大学

安本慶一^{†5}

奈良先端科学技術大学院大学

1. はじめに

糖分入り飲料 (SSB) は、私たちの食生活において主要な糖分摂取源となっている。特に低所得国や中所得国においては、消費パターンの増加は都市化や経済発展に伴い、これら飲料の入手可能性が増加したため、多くの低所得国や中所得国で SSB の摂取量が増加している [1, 2, 3, 4]。また習慣的な SSB の摂取は、肥満 [5, 6, 7, 8] や糖尿病 [5, 9]、心臓病などの心疾患のリスクが高まるため [10, 11]、SSB の摂取量を低減させる取り組みが必要である。これまで SSB の摂取量問題を解決するための施策がいくつか提案されている [12, 13, 14, 15]。これら手法により、一時的に SSB の摂取を低減することは可能であるが、砂糖が少ないまたは無糖の飲料水は、味が物足りなく感じられることが多い。結果的に、糖分含有量が少ない飲料を選択するという習慣が長続きせず、甘い飲み物を常飲する元の生活に戻ってしまうケースが多い。

これまで、我々のグループでは、「味」として認識する大部分を香りが占めている [16, 17, 18] ことに着目し、飲み物を飲む際に甘い香りを提示することで、知覚する甘さを増幅するマグカップ型の嗅覚デバイスの研究開発に取り組んできた [19, 20, 21]。本デバイスにより、香りによって知覚するコーヒーの味の甘さ増幅を実現しているが、味の満足度向上には至っていない。

そこで我々は、嗅覚へのアプローチ方法を模索する。人には鼻先から香る「鼻先香 (Orthonasal smell)」と口の中から鼻を抜ける香り「口中香 (Retronasal smell)」の2つの鼻腔経路が存在し、鼻先香と口中香の嗅覚情報は、脳で異なる方法として処理されることが示されている [22, 23, 24]。



図1 Kaolid の概要 ((a) ストロー型デバイス, (b) コップ型デバイス)

特に、食べ物や飲み物の風味に寄与する口中香は、味覚との関連が強いことが知られている [25]。

しかし、既存アプローチは、鼻先香の提示に留まっており、口中香を提示できていないという点で、味覚の変化を促すには十分な設計ではない可能性がある。そこで本研究では、口中香を実現し、飲料の味覚を変化させるスマートな蓋型嗅覚デバイス「Kaolid」を提案する。図1に示すように、Kaolid は小型で軽量の嗅覚デバイスを搭載し、口中香を実現するストロー型デバイスとコップ型デバイスである。ストロー型デバイスは、ストロー中間部分から香りをチューブ内に注入し、飲料と同時に香りをユーザの口内に届ける。コップ型デバイスは、蓋からコップ内に香りを噴射し、ユーザが飲む際に香りを口内に届け、口中香を実現する。

本稿では、Kaolid のプロトタイプシステムの設計・実装について述べ、口中香を提示した際の飲料の温度の違いが味覚に与える影響の調査結果について報告する。

2. 関連研究

2.1. SSB の代替飲料

SSB の摂取量を低減させるために、代替飲料として人工甘味飲料が注目されている。人工甘味料の普及に伴い、日常生活で人工甘味料が添付された製品に触れる機会が多くなっているが、人工甘味料で体重を減らすことは難しい。Fowler らの研究 [26] では、1980 年代に7~8年間に渡り、3682人の成人を対象に調査を行なっている。結果として、人工甘味料入り飲料を摂取した人は、摂取量に依存し、高い

^{†1} DAIKI MAYUMI, Nara Institute of Science and Technology

^{†2} YUGO NAKAMURA, Kyushu University

^{†3} YUKI MATSUDA, Nara Institute of Science and Technology

^{†4} MISAKI SHINYA, Nara Institute of Science and Technology

^{†5} KEIICHI YASUMOTO, Nara Institute of Science and Technology

BMI を示した。また、103 名の青少年を対象に行った研究でも、砂糖入り飲料をダイエット飲料に置き換えたが、25 週間後の BMI は減少しなかった [27]。結果の要因として、砂糖または人工甘味料によってもたらされる甘味が人間の食欲を高めることが関連している [28]。

100% フルーツジュースが SSB の代替品として受け入れられるかどうかについても、関心が寄せられている。ほとんどのフルーツジュースはビタミンや栄養素を含んでいるため、健康に良いと見なされる。しかし一部のフルーツジュースには、果物に含まれる天然糖が SSB と同程度のカロリーと糖分が含まれている。フルーツジュースの摂取が体重増加 [3] および 2 型糖尿病のリスク [29] と関連していることが報告されている。

一方、水には砂糖やカロリーが含まれておらず、水分補給に最適な飲料と考えられている。水の需要が高まるにつれて、様々な種類のスパークリングやフレーバーのオプションが利用できるようになり、習慣的に SSB を消費する人が水に切り替えるのに役立つ可能性がある。

2.2. 嗅覚デバイスに関する研究

近年、様々な種類の嗅覚デバイスとそれを用いたインタラクションが提案されている。例えば、ウェアラブルデバイスで香りを提示するヘッドマウント・ディスプレイ [30, 31] や、首からかけるウェアラブルデバイス [32, 33] などが開発されている。Wang らの研究 [34] では、ピアス型、ネックレス型、顔に装着するオンフェイス型の嗅覚デバイスを提案している。提案システムは日常生活で利用しやすいデザインと小型化を実現している。日常生活に溶け込んだデザインでユーザーが日常的に持ち運びが可能な設計である。提案システムの社会的受容性、快適性および装着者と観察者の双方が感じる匂いの強さなどを評価している。Amores らの研究 [32] では、スマートフォンから遠隔操作可能で、生体情報や文脈情報に基づいて香りの強さや頻度を変えることができるネックレス型の嗅覚デバイスを提案している。Dobbelstein らの研究 [33] では、日常生活で利用可能なウェアラブル嗅覚デバイスを開発し、個人の香りの通知を受け取ることが可能である。Choi ら [35] は、フレームの端に香りを放出するための加熱モジュールを埋め込んだ 3D プリントメガネを開発している。

2.3. 嗅覚が味覚に与える影響

人の味覚のうち 75~95 %は香りによる影響であると言われており、一般的に我々が「味」として認識している大部分は匂いが占めている [16, 17, 18]。つまり、香りを制御することで人の味覚を変化させることができる可能性がある。また風邪を引いて鼻が詰まったり、鼻を摘んで食事を行なっ

た際、味を感じなかったり、感じ取りにくい経験はないだろうか。これは味覚が嗅覚に依存していることがわかる身近な体験の 1 つである。また、嗅覚が味覚に与える影響の例としてかき氷のシロップが挙げられる。かき氷で使用される代表的なシロップとして、いちご味・レモン味・ブルーハワイ味などがある。これら 3 種類のシロップは甘味、旨味、塩味、苦味、酸味の数値は全てほとんど同じ数値であるが味わいがそれぞれ異なる。赤いシロップといちごの香りでいちご味を表現するなど、視覚および嗅覚情報の提示方法の違いによって異なる味わいを表現している。

Ranasinghe らの研究 [36, 37] では、AR や VR 空間での飲料体験を拡張することを目的として、電気刺激や香り、視覚効果を実現するデバイスを制作し、各刺激が味覚に及ぼす影響を調査している。結果として、異なる感覚相互作用によって味覚の拡張を実現しているが、甘味増幅に関しては実現できていない。また香りの提示方法は、鼻にチューブを直接挿す仕組みとなっており、ユーザが日常的に利用しやすいデザインではない。

また我々の研究グループは、香りによって甘さを増幅させるマグカップ型の嗅覚インターフェースを提案してきた [19, 20, 21]。被験者 33 名に対して実証実験を行い、香りによって知覚する味の甘さが増幅することを確認したが、味の満足度は向上しなかった。

つまり、SSB の代替飲料として人工甘味料を用いることは不十分であり、糖分やカロリーを含まない水の飲料促進を行うことが望ましい。我々は飲料の甘さを増幅させる手法の一つとして、香りによるアプローチを行ってきたが、現在の設計では味の甘さ増幅は実現するものの味の満足度向上は難しい。そこで本研究では、人の鼻腔経路の違いに着目し、異なる嗅覚のアプローチを考える。人には鼻先から香る「鼻先香 (Orthonasal smell)」と口の中から鼻を抜ける香り「口中香 (Retronasal smell)」の 2 つの鼻腔経路が存在し、鼻先香と口中香の嗅覚情報は、脳で異なる方法として処理されることが示されている [22, 23, 24]。特に、食べ物や飲み物の風味に寄与する口中香は、味覚との関連が強いことが知られている [25]。本論文では、口中香を提示可能なデバイス「Kaolid」のプロトタイプシステムの設計・実装を提案し、口中香を提示した際の飲料が味覚に与える影響の調査結果について報告する。

3. 蓋型嗅覚デバイス Kaolid の設計と実装

3.1. アプローチ

糖分摂取量を低減するために、砂糖が入っていない飲料の摂取が重要である。しかし、これまで砂糖入り飲料を多く摂取していた人にとって、糖分のない水に代替することは

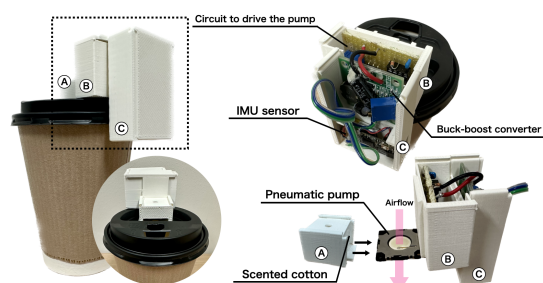


図2 Kaolid のシステム設計

難しい。そこで味として認識される大部分が匂いが占めていること、食べ物や飲み物の風味に寄与する口中香は味覚との関連が強いというこれら知見に基づき、飲料を飲む際に口中香を提示することで味覚を変化させ、知覚する味の甘さ増幅と味の満足度向上を図る。我々は飲み物を飲む際に日常的に使用する道具であるストローおよびコップに着目し、飲むという行為の動作センシング機能と、味覚を変化させる香り情報の提示機能を備えた嗅覚デバイス「Kaolid」を提案する。

3.2. システムの設計

本システムは口中香を実現する機構として、空気圧ポンプと空気圧ポンプを駆動するための回路で構成されている。

香りを噴射する空気圧ポンプは一方から空気を吸引し、一方から空気を吐出するデバイスとなっている。本研究で用いた空気圧ポンプは圧電式（ピエゾ）ダイヤフラムポンプの原理を利用しており、超音波振動を応用することで小型かつ薄型でありながら、高い圧力・流量を実現している。

図2に示すように、口中香を実現するための機構として、蓋上部からコップ内に香りを噴射する機構を設計した。香りを噴射する図2・Aは、空気圧ポンプと香りが染み込んだコットンを備えるため、3Dプリンタでコンテナを作成し、蓋上部に取り付けた。

また図2・BCに示すように、空気圧ポンプを駆動させるための回路はコンパクトに備えるために蓋上部に取り付ける設計にした。空気圧ポンプは入力電圧によって出力する圧力が変化する特性を持っているため、本デバイスでは空気圧ポンプへの入力電圧を15Vに設定し、空気圧は約1.6kPaで実験を行なった。これはデバイスから30cmほど離れた箇所ではほんのり香る程度の空気圧である。また香りにはアロマオイルを使用し、香りを染み込ませたコットンをコンテナ内に収めている。これによりコンテナに溜まった香りを空気圧ポンプによって噴射する機構となっている。

3.3. プロトタイプ

本研究では、口中香を実現するデバイスの設計を目的として、香りをストロー内に噴射するストロー型デバイスとコッ



図3 実験の様子

プ内に香りを噴射するコップ型デバイスを提案する。冷たい飲み物と温かい飲み物に対応するため、飲み物を飲む際に日常的に使用する道具であるストローとコップに着目した。

図1(a)に示すストロー型デバイスは、ストローの中心部から別口が生えており、別口から香りをストロー内に噴射する機構で口の中に香りを届ける。また図1(b)に示すコップ型デバイスは、コップ上部に香りを噴射するデバイスを設置し、コップ内に香りを噴射する機構することで飲料時に口の中に香りを届ける。

4. 調査実験

本研究では、Kaolidのプロトタイプを用いて各種フレーバーが味覚に及ぼす影響を調査するため、感覚的な官能評価実験を実施した。またKaolidと各種フレーバーで実現する味の評価を行うためにアンケートを実施した。

4.1. 参加者

本実験では、所属研究室の学生10名が参加し、年齢は20代（平均年齢23.9歳）であった。被験者の健康状態に問題はなく（風邪や発熱などの症状はない）、味覚や嗅覚についても正常な状態で実験は行われた。

4.2. 実験概要

本実験では、Kaolidのプロトタイプ別に異なる飲料を用意した。冷たい飲み物で利用するストロー型デバイスには、香りのない炭酸水を用いた。また温かい飲み物で利用するコップ型デバイスには、白湯を用いた。香りは人が感じることできる10種類の匂いのグループ[38]から炭酸水、白湯と相性が良いとされる柑橘系のグループからオレンジ、パイナップルを選択した。利用するデバイスの順番によるバイアスを防ぐため、順番が異なるように2種類の実験パターンを用意し実施した。また香りによるバイアスを防ぐため、各刺激の間に5分間休憩し水を飲んでもらった。各試行後、試飲に対するアンケートに回答してもらった。アンケートは、9段階のヘドニックテストを採用した。被験者には、飲

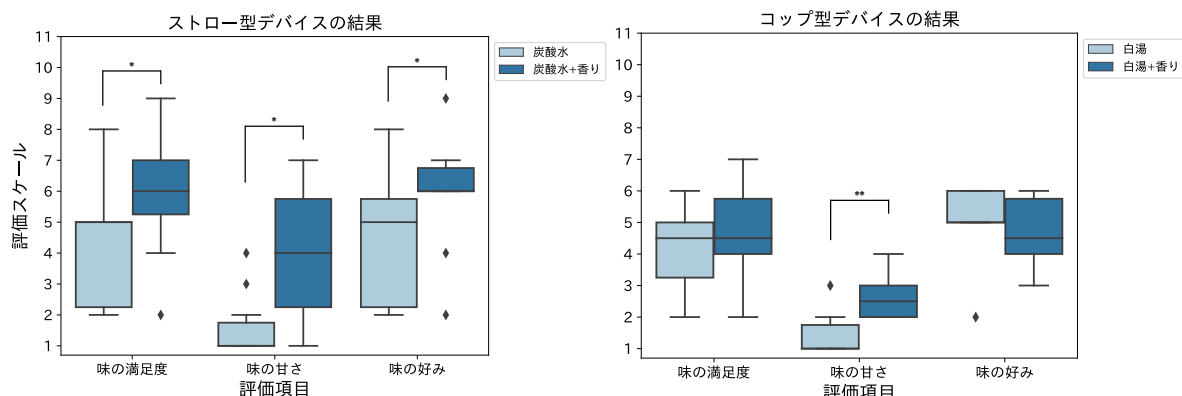


図4 全体の結果 (左・ストロー型, 右・コップ型)

んだ際に知覚した味の満足度, 味の甘さ, 味の好み, 具体的な甘さの評価を行ってもらった. 具体的な甘さの評価では, 図3に示すように, 被験者の前に糖分量の異なる砂糖水を10カップ用意し, 飲んだ際に感じた甘さに近いものを選択してもらった. 異なる砂糖水10カップは, 「1」は砂糖が含まれない水であり, 「9」は一般的な炭酸飲料の砂糖含有量11.3g/100mlの砂糖が入った砂糖水を用意した. その他は等分になるように砂糖水を用意した. 「10」は一般的な炭酸飲料よりも甘く感じた際に選択してもらうために用意した. これを行うことでKaolidを利用した際に感じた味の甘さと実際の糖分量で比較することができる.

5. 実験結果

はじめに, 本実験で用いた香り (オレンジ, パイナップル) の結果を統合し, 評価を行った. 次に香りによる味の評価を比較するため, 本実験で用いた香り (オレンジ, パイナップル) 別に評価を行った. 最後に具体的な味の甘さの評価結果を示す.

5.1. 全体結果

図4にそれぞれストロー型デバイス, コップ型デバイスの結果を示す. ストロー型デバイスを用いた味の評価では, 香りを付与していない場合に比べ, 全ての評価項目 (味の満足度, 味の甘さ, 味の好み) で評価が高くなる傾向が見られた. 特に味の甘さに関しては, 味の無い炭酸水に口中香を提示することで大幅に知覚する甘さが増幅することが確認された. つまり, ストロー型のKaolidによって口中香を実現し, ユーザの飲料体験を拡張することが可能であることが示された.

コップ型デバイスを用いた味の評価では, 香りを付与することで味の満足度, 味の甘さに関しては, 香りを付与していない場合に比べ評価が高くなる傾向が見られた. しかし, 味の好みに関しては香りがない方が評価が高くなった.

コップ型デバイスでは, 味の満足度や味の甘さは上昇する傾向が見られたが, ユーザの味の好みには合わない結果となった. つまり, コップ型のKaolidによってユーザの飲料体験を拡張するかに関しては今後議論していく必要がある.

また味の変化に関しては, ストロー型デバイスの方がコップ型デバイスよりも変化すると感じたユーザが多いことがわかった. 被験者のコメントでは, 「(ストロー型デバイスに用いた飲料が) 炭酸だったので, より味の変化を感じられた.」というコメントがいくつか見られた. 他には, 「ストローの方が匂いが無駄なく口に入る分, 味の変化が大きい結果になると感じた.」と回答する人もいた. またコップ型に関しては, 「味の変化はストロー型の方が感じられたが, 口当たりの好みはコップ型であった.」と回答する人がいた.

つまり, ストロー型デバイスの方が香りが直接口に運ばれるため, 味の変化を感じやすいことが被験者のコメントより確認された. しかし, ストロー型デバイスは香りがストローを伝って口に入るため, 普段とは飲み心地が異なった結果, コップ型の方を好む人も見られた.

続いて, 2組の標本に対応があるときに有意差検定として用いられるWilcoxonの符号順位検定を使用し, 香りの有無による各評価項目を定量的に比較した. 各評価項目の検定結果を表1にまとめる. 検定の結果, ストロー型デバイスでは, すべての評価項目で有意差が認められた. またコップ型デバイスでは, 味の甘さの評価で有意差が認められた.

5.2. 香り別の分析結果

次に香りの違いによる味覚の調査を行うため, オレンジとパイナップルの香り別に評価を行った.

5.2.1 オレンジの香りの結果

オレンジの香りを用いた際の実験結果を図5に示す. ストロー型デバイスに関しては, 全体の分析結果同様, 全ての評価項目 (味の満足度, 味の甘さ, 味の好み) で香りを付与していない場合に比べ評価が高くなる傾向が見られた. ま

表 1 香りの有無による各評価項目の検定結果

比較する 2 組		p 値	有意差 ($p \leq 0.05$)
ストロー型デバイス	味の満足度 (炭酸水) & 味の満足度 (炭酸水 + 香り)	1.032×10^{-2}	✓
	味の甘さ (炭酸水) & 味の甘さ (炭酸水 + 香り)	1.755×10^{-2}	✓
	味の好み (炭酸水) & 味の好み (炭酸水 + 香り)	2.778×10^{-2}	✓
コップ型デバイス	味の満足度 (白湯) & 味の満足度 (白湯 + 香り)	2.720×10^{-1}	-
	味の甘さ (白湯) & 味の甘さ (白湯 + 香り)	9.765×10^{-3}	✓
	味の好み (白湯) & 味の好み (白湯 + 香り)	3.506×10^{-1}	-

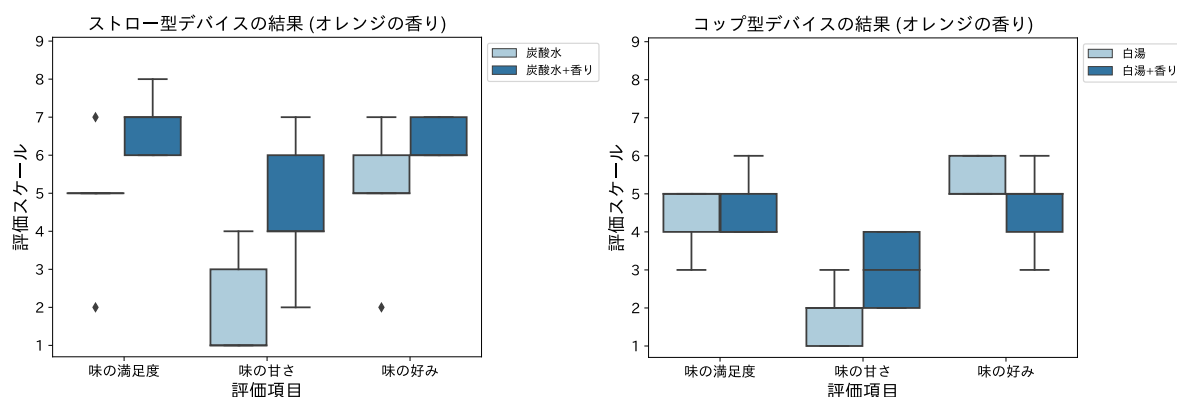


図 5 オレンジの香りの結果 (左・ストロー型, 右・コップ型)

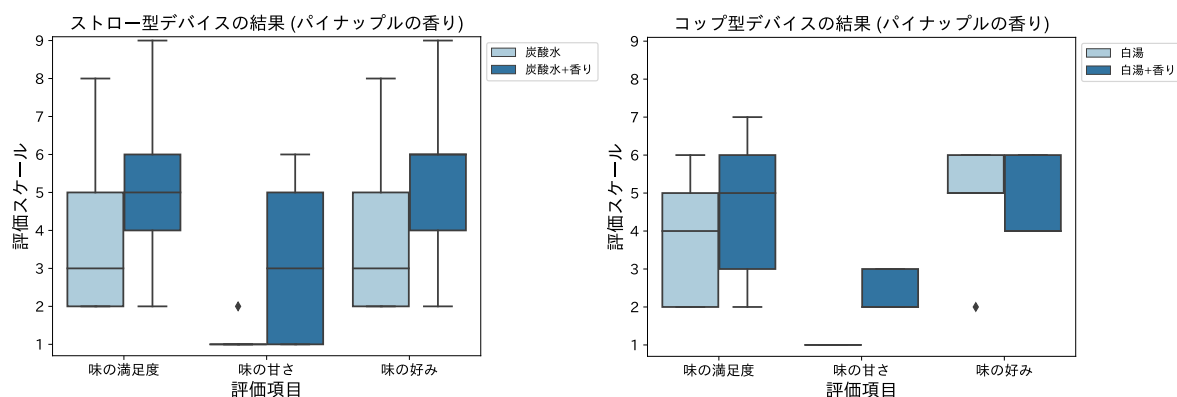


図 6 パイナップルの香りの結果 (左・ストロー型, 右・コップ型)

た味の満足度と味の好みに関しては、標準偏差の結果より、散らばりが少なく評価が高い傾向が確認された。味の甘さに関しては、全体分析結果に比べさらに味の甘さが増幅する傾向が確認された。

一方、コップ型デバイスでは、味の甘さに関しては増幅する傾向が確認されたが、味の満足度は香りがない場合に比べてほとんど変わらない結果となった。味の好みに関しては、全体分析結果同様、香りを付与することで評価が下がる結果となった。

味の変化に関しては、ストロー型デバイスの方が大幅に変化する傾向が見られた。また標準偏差の結果より、データの散らばりも少ないことが確認された。

5.2.2 パイナップルの香りの結果

パイナップルの香りを用いた際の実験結果を図 6 に示す。ストロー型デバイスでは、オレンジの香りの結果に比べ、全ての評価項目でデータのばらつきが大きく見られ、個人の好みの差が大きく見られた。コップ型デバイスでは、オレンジの香りと同様の傾向が確認された。

香り別に分析を行った結果、ストロー型デバイスではパイナップルの香りよりオレンジの香りの方が好まれる傾向が見られた。これは本実験で使用した飲料が影響していると考えられる。ストロー型デバイスには、飲料として炭酸水を

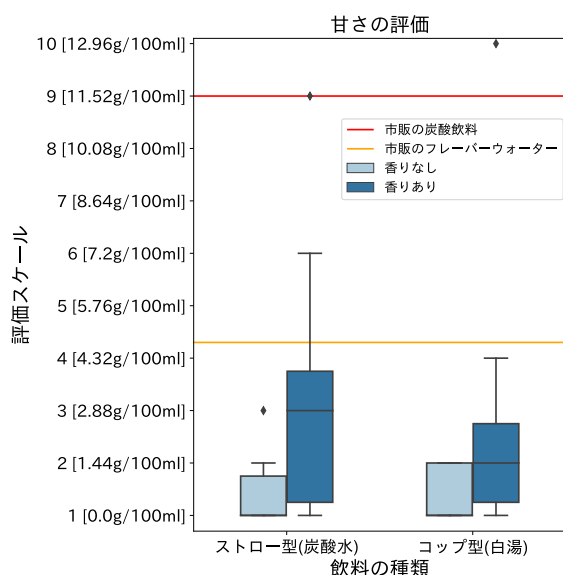


図7 甘さの評価結果

用いたが、炭酸水と相性が良い香りとしてオレンジであることが確認された。本実験で用いた香りの選定には、人が感じることで10個の匂いのグループ [38] から2つのグループから選定を行った。つまり、オレンジのグループの香りが炭酸水と相性が良い可能性が示された。

またコップ型デバイスでは、味の甘さは増幅する傾向が確認されたが、香りの種類に関係なく満足度や味の好み、味の変化は有意に上昇する傾向は確認されなかった。つまり、現状のコップ型デバイスでは、口中香の実現は難しい可能性が示された。

5.3. 味の甘さの評価

具体的にどれくらいの味の甘さを感じるかを評価した結果を図7に示す。市販の炭酸飲料の糖分量を赤線、市販のフレーバーウォーターの糖分量をオレンジ線で示す。結果より、炭酸水を用いたストロー型デバイスの場合では香りを提示することで平均でスケール約2つ分の味の甘さ増幅を記録した。評価スケール1つで1.44g/100mlの糖分量であったため、中央値と比較した場合、ストロー型デバイスでは約2.88g分の甘さ増幅を実現したことがわかる。また被験者によっては、市販の炭酸飲料の甘さと同等の評価をしていることがわかった。また白湯を用いたコップ型デバイスの場合では、ストロー型デバイスには劣るが、同様に甘さ増幅の傾向が見られた。コップ型では、一般的な炭酸飲料よりも甘く感じたと評価した被験者も見られた。つまり、Kaolidを用いることで味の甘さ増幅を実現し、糖分摂取量低減を補助する可能性が見られた。

6. おわりに

本実験により、香りがない場合に比べ、Kaolidを利用することで味の満足度、味の甘さが大幅に上昇する傾向が確認された。また検定の結果、被験者数は10名であったが、ストロー型デバイスではすべての評価項目で有意差が確認され、コップ型デバイスでも味の甘さで有意差が確認された。今後はさらに大規模に実験を行うことで、Kaolidの有効性を示していく。

また香り別に分析を行うことで、飲料によって相性の良い香りが変わる可能性が示唆された。本実験では、香りにオレンジ、パイナップルを用いたが、人が感じることで10個の匂いのグループ [38] に基づき、飲料と相性の良い香りを探索する必要がある。またデバイス別では、ストロー型デバイスは口中香を実現した可能性が見られたが、コップ型デバイスに関しては、口中香の実現はできていない可能性が見られた。今後は、白湯などの温かい飲み物でも口中香を実現するデバイスを模索する必要がある。

参考文献

- [1] Malik, V., Willett, W. and Hu, F.: Global obesity: trends, risk factors and policy implications, *Nature Reviews Endocrinology*, Vol. 9, No. 1, pp. 13–27 (2013).
- [2] World Health Organization: Diabetes, Available online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>. Accessed: 2022-02-25.
- [3] Schulze, M. B., Manson, J. E., Ludwig, D. S., Colditz, G. A., Stampfer, M. J., Willett, W. C. and Hu, F. B.: Sugar-sweetened beverages, weight gain, and incidence of type 2 diabetes in young and middle-aged women, *Jama*, Vol. 292, No. 8, pp. 927–934 (2004).
- [4] Singh, G. M., Micha, R., Khatibzadeh, S., Shi, P., Lim, S., Andrews, K. G., Engell, R. E., Ezzati, M., Mozaffarian, D., of Diseases Nutrition, G. B. and (NutriCoDE), C. D. E. G.: Global, regional, and national consumption of sugar-sweetened beverages, fruit juices, and milk: a systematic assessment of beverage intake in 187 countries, *PloS one*, Vol. 10, No. 8, p. e0124845 (2015).
- [5] Gross, L. S., Li, L., Ford, E. S. and Liu, S.: Increased consumption of refined carbohydrates and the epidemic of type 2 diabetes in the United States: an ecologic assessment, *The American journal of clinical nutrition*, Vol. 79, No. 5, pp. 774–779 (2004).
- [6] Vartanian, L. R., Schwartz, M. B. and Brownell, K. D.: Effects of soft drink consumption on nutrition and health: a systematic review and meta-analysis, *American journal of public health*, Vol. 97, No. 4, pp. 667–675 (2007).
- [7] Te Morenga, L., Mallard, S. and Mann, J.: Dietary sugars and body weight: systematic review and meta-analyses of randomised controlled trials and cohort studies, *Bmj*, Vol. 346 (2013).

- [8] Malik, V. S., Pan, A., Willett, W. C. and Hu, F. B.: Sugar-sweetened beverages and weight gain in children and adults: a systematic review and meta-analysis, *The American journal of clinical nutrition*, Vol. 98, No. 4, pp. 1084–1102 (2013).
- [9] Imamura, F., Laura O' Connor, Ye, Z., Mursu, J., Hayashino, Y., Bhupathiraju, S. N., Forouhi, N. G. Consumption of sugar sweetened beverages, artificially sweetened beverages, and fruit juice and incidence of type 2 diabetes: systematic review, meta-analysis, and estimation of population attributable fraction, *Bmj*, Vol. 351 (2015).
- [10] Yin, J., Zhu, Y., Malik, V., Li, X., Peng, X., Zhang, F. F., Shan, Z. and Liu, L.: Intake of sugar-sweetened and low-calorie sweetened beverages and risk of cardiovascular disease: a meta-analysis and systematic review, *Advances in Nutrition*, Vol. 12, No. 1, pp. 89–101 (2021).
- [11] Malik, V. S. and Hu, F. B.: The role of sugar-sweetened beverages in the global epidemics of obesity and chronic diseases, *Nature Reviews Endocrinology*, Vol. 18, No. 4, pp. 205–218 (2022).
- [12] Popkin, B. M. and Hawkes, C.: Sweetening of the global diet, particularly beverages: patterns, trends, and policy responses, *The lancet Diabetes & endocrinology*, Vol. 4, No. 2, pp. 174–186 (2016).
- [13] Muth, N. D., Dietz, W. H., Magge, S. N., Johnson, R. K., Bolling, C. F., Armstrong, S. C., Haemer, M. A., Rausch, J. C., Rogers, V. W., Abrams, S. A. et al.: Public policies to reduce sugary drink consumption in children and adolescents, *Pediatrics*, Vol. 143, No. 4 (2019).
- [14] Hoenink, J., Stuber, J., Lakerveld, J., Waterlander, W., Beulens, J. and Mackenbach, J.: The effect of on-shelf sugar labeling on beverage sales in the supermarket: a comparative interrupted time series analysis of a natural experiment, *ISBNPA*, Vol. 18, No. 1, pp. 1–11 (2021).
- [15] Villinger, K., Wahl, D., Engel, K. and Renner, B.: Nudging sugar portions: a real-world experiment, *BMC nutrition*, Vol. 7, No. 1, pp. 1–5 (2021).
- [16] Lyman, B.: *A psychology of food: More than a matter of taste*, Springer Science & Business Media (2012).
- [17] Rosenblum, L. D.: *See what I'm saying: The extraordinary powers of our five senses*, WW Norton & Company (2011).
- [18] Stuckey, B.: *Taste what you're missing: the passionate eater's guide to why good food tastes good*, Simon and Schuster (2012).
- [19] 真弓大輝, 中村優吾, 松田裕貴, 安本慶一 Aromug: 糖分摂取量低減を補助するスマートマグカップの検討, 情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループ キックオフシンポジウム, pp. 1–4 (2022).
- [20] 真弓大輝, 中村優吾, 三崎慎也, 松田裕貴, 安本慶一 Aromug: 糖分摂取量低減を補助するスマートマグカップの設計と基礎評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2022) シンポジウム論文集, pp. 981–988 (2022).
- [21] Mayumi, D., Nakamura, Y., Misaki, S., Matsuda, Y. and Yasumoto, K.: Aromug: Mug-type Olfactory Interface to Assist in Reducing Sugar Intake, *The 5th International Workshop on Computing for Well-Being (WellComp '22)* (2022).
- [22] Heilmann, S. and Hummel, T.: A new method for comparing orthonasal and retronasal olfaction., *Behavioral neuroscience*, Vol. 118, No. 2, p. 412 (2004).
- [23] Small, D. M., Gerber, J. C., Mak, Y. E. and Hummel, T.: Differential neural responses evoked by orthonasal versus retronasal odorant perception in humans, *Neuron*, Vol. 47, No. 4, pp. 593–605 (2005).
- [24] Bojanowski, V. and Hummel, T.: Retronasal perception of odors, *Physiology & behavior*, Vol. 107, No. 4, pp. 484–487 (2012).
- [25] Rozin, P.: "Taste-smell confusions" and the duality of the olfactory sense., *Perception & psychophysics* (1982).
- [26] Fowler, S. P., Williams, K., Resendez, R. G., Hunt, K. J., Hazuda, H. P. and Stern, M. P.: Fueling the obesity epidemic? Artificially sweetened beverage use and long-term weight gain, *Obesity*, Vol. 16, No. 8, pp. 1894–1900 (2008).
- [27] Ebbeling, C. B., Feldman, H. A., Osganian, S. K., Chomitz, V. R., Ellenbogen, S. J. and Ludwig, D. S.: Effects of decreasing sugar-sweetened beverage consumption on body weight in adolescents: a randomized, controlled pilot study, *Pediatrics*, Vol. 117, No. 3, pp. 673–680 (2006).
- [28] Black, R. M., Leiter, L. A. and Anderson, G. H.: Consuming aspartame with and without taste: differential effects on appetite and food intake of young adult males, *Physiology & behavior*, Vol. 53, No. 3, pp. 459–466 (1993).
- [29] Bazzano, L. A., Li, T. Y., Joshipura, K. J. and Hu, F. B.: Intake of fruit, vegetables, and fruit juices and risk of diabetes in women, *Diabetes care*, Vol. 31, No. 7, pp. 1311–1317 (2008).
- [30] Yamada, T., Yokoyama, S., Tanikawa, T., Hirota, K. and Hirose, M.: Wearable olfactory display: Using odor in outdoor environment, *IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006)*, IEEE, pp. 199–206 (2006).
- [31] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented reality flavors: gustatory display based on edible marker and cross-modal interaction, *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 93–102 (2011).
- [32] Amores, J. and Maes, P.: Essence: Olfactory interfaces for unconscious influence of mood and cognitive performance, *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems*, pp. 28–34 (2017).
- [33] Dobbelsstein, D., Herrdum, S. and Rukzio, E.: inScent: A wearable olfactory display as an amplification for mobile notifications, *Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 130–137 (2017).
- [34] Wang, Y., Amores, J. and Maes, P.: On-face olfactory

- interfaces, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–9 (2020).
- [35] Choi, Y., Parsani, R., Roman, X., Pandey, A. V. and Cheok, A. D.: Sound perfume: building positive impression during face-to-face communication, *SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies*, pp. 1–3 (2012).
- [36] Ranasinghe, N., Suthokumar, G., Lee, K.-Y. and Do, E. Y.-L.: Digital flavor: towards digitally simulating virtual flavors, *Proceedings of the 2015 ACM on international conference on multimodal interaction*, pp. 139–146 (2015).
- [37] Ranasinghe, N., James, M. N., Gecawicz, M., Bland, J. and Smith, D.: Influence of Electric Taste, Smell, Color, and Thermal Sensory Modalities on the Liking and Mediated Emotions of Virtual Flavor Perception, *Proceedings of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction*, pp. 296–304 (2020).
- [38] Castro, J. B., Ramanathan, A. and Chennubhotla, C. S.: Categorical dimensions of human odor descriptor space revealed by non-negative matrix factorization, *PLoS one*, Vol. 8, No. 9, p. e73289 (2013).